

Research on the Effect of Collaborative Filling of Waste Rock in Metal Mines on Underground Ground Pressure Control

Hong Luo

Yunnan Diqing Mining Development Co. Ltd., Shangri-la, Yunnan, 674400, China

Abstract

Underground pressure control has always been a key factor restricting the safety and efficiency of metal mine mining. As a commonly used technology for underground goaf treatment at present, waste rock collaborative filling has important practical value in the research on its correlation with ground pressure control. By integrating relevant research on waste rock collaborative filling technology and underground ground pressure control, this paper deeply analyzes the internal relationship between the two and systematically sorts out the core problems existing in the current technical application: poor practical application effect, difficulty in ensuring construction techniques, and uneven pressure control effect. Aiming at these problems, this paper further analyzes the causes and puts forward targeted solutions, aiming to improve the stability and reliability of underground ground pressure control through technical optimization. The research results not only provide practical guidance for the engineering application of waste rock collaborative filling technology, but also lay a foundation for the subsequent in-depth research on the correlation between waste rock collaborative filling and underground ground pressure control, which is of great significance for promoting the safe and efficient mining of metal mines.

Keywords

metal mines; waste rock collaborative filling; ground pressure control; existing problems; improvement methods

金属矿山废石协同充填对井下地压控制效果的影响研究

罗鸿

云南迪庆矿业开发有限责任公司, 中国·云南 香格里拉 674400

摘要

井下压力控制始终是制约金属矿山开采安全与效率的关键因素,而废石协同充填作为当前井下空区处理的常用技术,其与地压控制的关联性研究具有重要现实价值。本文通过整合废石协同充填技术与井下地压控制的相关研究,深入剖析二者内在联系,系统梳理了当前技术应用中存在的核心问题:实际应用效果不佳;施工技艺难以保证;以及控压效果参差等。针对这些问题,本文进一步分析成因并提出针对性解决路径,旨在通过技术优化提升井下地压控制的稳定性与可靠性。研究成果不仅为废石协同充填技术的工程应用提供了实践指导,也为后续深化废石协同充填与井下地压控制的关联研究奠定了基础,对推动金属矿山安全高效开采具有重要意义。

关键词

金属矿山; 废石协同充填; 地压控制; 现存问题; 改进方法

1 概述

1.1 研究背景与意义

废石协同充填技术在地压控制中展现出显著的应用价值,不仅通过将矿山废石转化为充填材料实现了资源循环利用,减少了废石堆存的环境压力,更能通过构建稳定的充填体有效平衡地压,为深部、复杂地质条件下的矿山开采提供安全保障,是兼顾生态效益与生产安全的重要技术路径。

在此背景下,研究金属矿山废石协同充填对地下井压控制效果的影响,具有重要现实意义。通过系统梳理废石协

同充填技术在材料、工艺、评估等环节的现存问题,提出靶向改进方案,既能推动技术从理论研究向工程实践落地,解决实际生产中的痛点堵点,又能通过持续优化提升技术的适配性与经济性,使其更好地满足不同金属矿山的复杂需求,为矿业绿色安全高效发展提供有力支撑。

1.2 国内外研究与应用现状

在废石协同充填技术的工程应用中,其在地压控制领域的实践成效已在国内外多座矿山得到验证,形成了可复制的技术范式。例如国内某大型铁矿在深部开采时面临地压显现强烈的困境,如频繁的巷道片帮、严重的顶板下沉等问题,极大威胁着开采作业安全与效率。该矿创新采用废石与胶凝材料混合充填工艺,将井下掘进产生的废石经破碎筛分后,按特定比例与胶凝材料混合,通过泵送方式输送至采空区完

【作者简介】罗鸿(1989-),男,中国云南香格里拉人,本科,工程师,从事采矿技术管理,充填技术管理研究。

成填充。国外某铜矿结合自身矿床赋存特点,采用废石高浓度充填技术配合分段空场采矿法,利用废石自重与胶结体共同作用平衡地压,成功将采场服务年限延长近三分之一,同时降低了重复支护的成本,提升了矿山整体经济效益。

当前,学界针对废石协同充填开展了大量研究,主要聚焦于充填体强度、变形特性等性能参数的优化,以及运用数值模拟等手段深入探究地压分布规律,这些研究成果为技术应用提供了坚实的理论基础与数据支撑。然而,在实际生产场景中,仍存在诸多亟待解决的系统性问题。

基于此,本文立足工程实践,全面系统地梳理了废石协同充填在地压控制应用中存在的核心问题。针对这些问题,本文提出针对性改进方法,如建立基于地质条件的废石级配动态调整机制,依据不同地质状况实时调整废石级配,确保充填体性能稳定;构建充填地压监测一体化管理系统,实现监测数据与充填作业的实时交互,及时响应地压变化,动态调整充填参数。本文旨在通过这些研究,弥合理论研究与应用之间的鸿沟,为废石协同充填技术的高效落地提供切实可行的路径,推动该技术在金属矿山地压控制领域的广泛应用与持续发展。

2 金属矿山废石协同充填地压控制的技术框架

2.1 核心技术构成

废石协同充填技术的核心构成涵盖材料、工艺与目标三个维度。在材料协同体系中,关键在于废石与胶凝材料的科学配比设计,需结合地质条件与强度需求确定两者掺量比例,并通过添加剂调控充填体的流动性、凝结时间等性能,确保材料适配性;工艺实施流程贯穿废石处理至充填养护全链条,包括对废石进行破碎分选以满足粒径要求,通过管道或机械方式完成充填体的输送与浇筑,以及后续的养护管理以保障强度达标;地压控制目标则聚焦于通过充填体作用实现应力有效转移,减少围岩应力集中,维持采场围岩稳定,最终保障开采工程的安全推进。

2.2 技术作用逻辑

该技术的作用逻辑以充填体与围岩的力学耦合机制为核心。充填体进入采空区后,与周边围岩构建起协同受力体系,其力学作用体现在两个维度:一方面,充填体凭借自身强度特性传递并分担围岩荷载,通过应力的重新分布降低局部应力集中程度,为围岩提供结构性支撑;另一方面,其与围岩形成的变形协调效应,可缓冲围岩移动产生的能量释放,抑制突发性失稳的发生。

3 废石协同充填地压控制现存问题分析

3.1 材料协同层面的问题

在废石协同充填技术的实际应用中,材料层面的问题直接影响着地压控制效果。充填体性能常因废石粒径分布不均而出现明显波动,粒径差异过大导致材料密实度不一致,进而造成强度忽高忽低,难以稳定承担地压荷载,削弱了对

围岩的支撑能力。协同配比的不合理同样带来隐患,若胶凝材料用量过多,会显著推高成本且造成浪费;而用量不足则会导致充填体强度不足、易破碎,无法有效抵抗地压,直接引发地压控制失效。

3.2 工艺实施层面的问题

工艺实施环节的缺陷对不住地压控制效果构成直接威胁。充填体浇筑过程中,因废石堆积空隙率高,加之泵送时易发生堵管,常会导致局部出现空洞,使充填体结构不连续,在地压集中作用下极易发生变形,甚至丧失支撑能力。养护工艺的不完善同样加剧了风险,若早期强度增长缓慢,充填体便无法及时承受开采过程中产生的扰动地压,进而引发巷道位移,破坏采场稳定性。更关键的是,若充填速度与采矿进度脱节,充填作业滞后于采矿进度,会导致采空区暴露时间过长,围岩应力持续累积,显著增加地压失控的风险,对整个开采工程的安全构成严重挑战。

3.3 地压控制效果评估层面的问题

地压控制的监测与反馈环节存在明显短板,制约了技术应用的精准性。监测体系的不健全使得实时地压数据难以获取,诸如应力分布、围岩位移等动态变化缺乏有效追踪,无法及时准确判断充填体的实际控制效果,难以提前识别潜在风险。评价指标的单一化进一步局限了对控制效果的全面认知,往往仅以短期稳定性作为衡量标准,却忽视了长期地压作用下充填体可能发生的劣化现象及其对控制效果的持续影响,导致评价结果存在片面性。更为关键的是反馈机制的缺失,当地压出现异常时,无法快速联动调整充填参数,使得控制措施始终滞后于实际工况变化,难以形成动态适配的调控闭环,最终影响地压控制的及时性与有效性。

3.4 工程应用层面的问题

废石协同充填在地压控制中还面临着经济性与安全性的平衡难题,以及地质适应性不足的挑战。为追求成本降低而减少胶凝材料用量,会直接导致充填体强度下降,虽短期压缩了开支,却为地压失控埋下隐患,一旦发生围岩失稳,反而会造成更大的经济损失和安全风险。

同时,现有协同方案对复杂地质条件的适应性较差,在高应力环境或破碎围岩区域,充填体的受力状态更为复杂,原有的材料配比与工艺参数难以匹配实际需求,地压控制效果会大幅下降,无法有效应对特殊地质条件下的安全挑战。

4 基于问题的后续改进方法与技术路径

4.1 材料协同优化方法

针对材料层面的问题,可通过系列技术优化实现系统性改进。采用废石预处理技术,通过分级破碎与筛分工艺对废石进行精细化处理,能有效控制粒径分布的均匀性,减少因颗粒差异导致的空隙率,显著提升充填体的密实度,为稳定承载地压奠定基础。协同配比的智能化设计则借助机器

学习算法,深度融合矿山地质条件参数——如地应力大小、围岩强度等,自动计算并生成废石与胶凝材料的最优配比方案,既能避免胶凝材料过量造成的成本浪费,又能防止用量不足导致的强度缺陷,实现材料效能与经济性的平衡。此外,通过添加剂改良技术,在充填材料中掺入活性激发剂,可在减少胶凝材料用量的前提下提升充填体强度,同时中和废石中可能含有的腐蚀性成分,缓解材料兼容性问题,增强充填体在长期地压作用下的耐久性。

4.2 工艺实施改进技术

通过数字化平台联动采矿进度与充填作业,确保针对工艺实施中的短板,可通过技术创新与流程优化提升地压控制的可靠性。高浓度泵送工艺的应用是关键突破,研发适配废石特性的新型输送设备,能有效减少泵送过程中的废石离析现象,确保充填体在浇筑时分布均匀,显著提高密实度,避免局部空洞引发的地压集中问题。快速养护技术则通过蒸汽养护或添加早强剂等方式,加速充填体强度增长,大幅缩短达到设计强度的时间,使其能及时承受开采扰动产生的地压,精准匹配采矿节奏。同时,依托数字化平台实现充填-采矿协同调度,实时联动采矿进度与充填作业计划,动态调整设备与人员配置,确保采空区在暴露时间内得到及时充填,从流程上降低地压失控风险,形成高效衔接的作业闭环。

4.3 地压控制效果评估体系完善

依托数字化平台建立地压控制效果评估体系,实时联动采矿进度与充填作业计划,动态调整设备与人员配置,确保采空区在暴露时间内得到及时充填,从流程上降低地压失控风险,形成高效衔接的作业闭环。

4.4 工程适应性提升策略

若矿山地下压力大,可以把废石和有弹性的材料搭配起来用,既能靠废石硬顶压力,又能靠弹性材料缓冲冲击,避免被压坏;要是周围的岩石很破碎,就往充填材料里加些纤维,让它更结实、不容易开裂,能跟破碎的岩石贴得更紧,稳住整体结构。其次,做好经济性优化,在确保能控制住地压、保证安全的前提下,尽量多利用废石,少用那些贵的胶凝材料,算出最合理的搭配比例,这样既能适应矿山的复杂条件,又能少花钱,让技术用得更实在。

5 结语

本文围绕废石协同充填地压控制技术展开研究,系统

梳理了当前应用中存在的核心问题。在材料维度,充填体性能不稳定、协同配比不合理及材料兼容性差等问题,直接影响地压承载能力;工艺层面,充填体浇筑密实度不足、养护工艺不完善及与开采节奏脱节,导致地压控制效果波动;评估体系存在监测不健全、指标单一及反馈机制缺失等短板,难以精准判断控制成效;应用中则面临经济性与安全性平衡难、地质适应性差等现实挑战,制约了技术的推广落地。

针对上述问题,研究提炼出改进方法的关键突破点,即实现智能化、适应性与经济性的深度融合。通过废石预处理智能化、协同配比机器学习优化等技术,提升材料性能稳定性这些技术改进,通过材料与工艺的精准优化,大幅提升了充填体的强度稳定性与地压承载能力,减少了因结构失效导致的地压失控风险。同时,智能化监测与动态反馈机制的建立,实现了地压控制效果的实时调控与长期保障。经济性与适应性的提升,让技术更贴合矿山实际需求,为深部高应力、复杂地质条件下的开采安全提供了可靠支撑,推动废石协同充填技术从理论研究迈向工程化应用的新阶段。

参考文献

- [1] 姜坤序,宋建村,李涵.红透山矿业井下废石充填系统[J].有色矿冶,2020,36(01):1-4.
- [2] 《用废石胶结充填体做岩层支护》[J].有色矿山,1991(03):9-12+22.
- [3] 郭忠林,刘光生,陈庆发,等.金属矿山固废充填研究现状与发展趋势[J].工程科学学报,2021,43(03):279-294.
- [4] 李栋,张东速,余学义,等.研石充填开采协同承载机制及充填效果评价研究[J].矿业安全与环保,2022,49(02):24-29.
- [5] 谢雄,王洪江,陈金政,等.废石尾砂胶结充填体力学特性试验研究[J].矿业研究与开发,2020,40(08):42-46.
- [6] 陈金政,谢雄,王洪江,等.废石-尾砂胶结充填体强度特性及微观结构试验研究[J].金属矿山,2020(08):112-117.
- [7] 张钦礼,王新民,肖卫国,等.金属矿山高阶段尾砂废石胶结充填体力学特性[J].中南大学学报(自然科学版),2012,43(09):3632-3637.
- [8] 王海宁,李翠平,余伟健,等.基于协同承载的废石充填体强度特性试验研究[J].矿业研究与开发,2019,39(09):1-5.
- [9] 杨小聪,侯克鹏,黄滚,等.金属矿山废石尾砂胶结充填体本构模型试验研究[J].工程力学,2018,35(08):221-228.
- [10] 赵奎,石露,邓建,等.废石尾砂胶结充填体力学参数试验研究[J].有色金属科学与工程,2017,8(05):102-106.